Über Druckfestigkeitsuntersuchungen an Silberamalgamen

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde
einer hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von

Walter Widmaier
Zahnarzt aus Stuttgart

Universitätsverlag von Robert Noske in Borna-Leipzig
1929

Dekan: Prof. Dr. Oertel

Referent: Privatdozent Dr. Wannenmacher

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen Eltern gewidmet

Angeregt durch die Stockschen Veröffentlichungen über „Die Gefährlichkeit des Quecksilbers und der Amalgam-Zahnfüllungen“ (Lit. 1) wandte sich das zahnärztliche, wissenschaftliche Interesse erneut der Amalgamfrage zu.

Obwohl die Thesen von Prof. Stock im Anfange fast allgemeine Ablehnung bei der Zahnärzteschaft gefunden hatten, hatten schon die ersten Nachuntersuchungen zur Folge, daß das binäre Kupferamalgam allgemein abzulehnen sei. Reine Kupferamalgame sollen nicht mehr verwendet werden (Lit. 2).

Gleichzeitig wandte sich das Forschen der Untersuchung von Edelamalgamen zu. Zusätze von Gold und Platin in Höhe von 5% in der Legierung scheinen zunächst ohne wesentliche Bedeutung zu sein (Lit. 3). So kommen für Untersuchungen hauptsächlich Silber-Zinnamalgame in Frage.

Es galt nun auch bei diesen Edelamalgamen einen Quecksilberüberschuß nach Möglichkeit auszuschalten. Eine genaue Dosierung der Mengen von Feilung und Quecksilber wurde gefordert (Lit. 2). Dazu waren Kenntnisse über das Wesen der Amalgame erforderlich.

Im Rahmen dieser Arbeit erscheint es angezeigt, aus der mannigfachen Literatur nur einige grundlegende Arbeiten herauszugreifen.

Fenchel verdanken wir Kenntnisse über die Zusammensetzung und die Kristallisationsvorgänge der Amalgame. Folgende Eigenschaften fordert er von einem guten Amalgam:

1. Formbeständigkeit
   a) Ausdehnung,
   b) Schrumpfung;
2. Härte, d. i. Widerstand
   gegen plötzliche Beanspruchung,
   gegen dauernde Belastung (Lit. 4).

Als Untersuchungsmethoden auf Formbeständigkeit werden von ihm angegeben:

die Eosinprobe,
die mikroskopische Betrachtung,

Bestimmung der Dichte
a) im Pyknometer,
b) auf der spezifischen Waage,
c) die Prüfung des elektrischen Widerstandes.

Für Prüfung auf Härte stehen uns nach Fenchel zur Verfügung: der Fallapparat nach Friedemann und ein Federdruckapparat des Autors, wobei zwei Amalgamhalbkugeln zur Verwendung gelangten, die eine Anfangsbelastungsfläche von 1 qmm hatten und einem Druck von 6250 Atmosphären ausgesetzt werden konnten.

Als bestes Amalgam empfiehlt Fenchel sein Kompensationsamalgam mit einem Gehalt von ca. 50% Silber (Lit. 5).

Auf Grund eingehender Untersuchungen über das Verhalten der einzelnen Metalle zum Quecksilber und des Verhaltens von Zinn und Silber beim Legieren stellen sich ihm die Phasen bei der Amalgamation wie folgt dar:

1. Aufspaltung der Zinn-Silberlegierungen in Zinn und Silber unter Rückgang der 5% Kontraktion,
2. Bildung der Verbindung Silber-Quecksilber unter 5 bzw. 10% Kontraktion,
3. Bildung der Zinn-Quecksilberverbindung unter 1% Ausdehnung.

Interessant sind die mikrophotographischen Studien des Autors. Er verwandte hierzu quecksilberreiche Amalgame, die in dieser Form praktisch nicht verwendbar sind, indem er Quecksilber im Verhältnis 5 : 2 mit den Legierungen mischte, heiß verflüssigte und während 4 Tagen in immer größeren Abständen photographierte. Verglichen wurden diese Bilder mit Aufnahmen reiner Kupfer-, Silber- und Zinnamalgame. Danach bestehen die Endprodukte der Amalgame:

1. bei hohem Silbergehalt aus
   a) reinem Silberamalgam,
   b) zwei ternären Silber-Zinnamalgamen;
2. bei mittlerem Silbergehalt aus zwei ternären Zinn-Silberamalgamen;
3. bei Zusatz von mehr Komponenten aus
   a) reinem Zinnamalgam,
   b) ternären und quaternären usw. Komponenten aller Amalgame.

Wenn Fenchels Arbeit zunächst auch weniger auf die praktische Lösung der Amalgamfrage seinerzeit einwirkte, so

hatte sie doch einen sehr großen Einfluß auf die Erforschung der tieferen Zusammenhänge.

Besonders zu erwähnen ist eine Arbeit von T a m m a n n und D a h l, da sie in jeder Hinsicht grundlegend und auch neueren Datums ist (Lit. 6).

Mit der bewußten Absicht, die beste Zusammensetzung eines Silber-Zinnamalgams zu ergründen, stellten die beiden Forscher systematische Untersuchungen über Härte, Erhärtungsgeschwindigkeit, sowie Bruchfestigkeit und Volumenänderungen in Abhängigkeit von der Zusammensetzung an.

Eine kurze Wiedergabe des aus der angeführten Arbeit hier in Betracht Kommenden scheint an dieser Stelle angebracht.

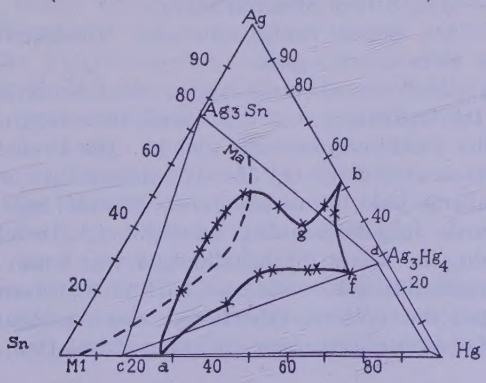
Wie B l a c k feststellte, vermag ein frisches Feilicht mehr Quecksilber aufzunehmen als ein gealtertes, ein Zustand, der bei manchen Feilungen durch halbstündiges Erhitzen auf 100° erreicht werden kann.

Dies war eine Klippe, an der die Dosierungsfrage anfänglich zu scheitern drohte, die sie aber jetzt, dank genauerer Kenntnis dieser Vorgänge, überwunden haben dürfte.

Zur Untersuchung dieser bedeutsamen Vorgänge vermengten T a m m a n n und D a h l abgewogene Teile Feilung und Quecksilber im Überschuß 3 Minuten lang und preßten dann die Masse 20 Sekunden in einer Pastillenpresse, die einen Druck von 35 Atmosphären auszuüben imstande war. Die Rückwaage des Amalgampreßstückes ergab die Zusammensetzung desselben.

Eine Kurve erläutert die Vorgänge bei der Kristallisation in anschaulicher Weise.

Abbildung 1.
Kristallisationsvorgänge eines Zinn-Silberamalgams.
(Nach G. T a m m a n n und O. D a h l.)



a f b bezeichnet die Kurve für frisches, a g b für altes Feilicht.

a g und a f geben auf Grund mikroskopischer Untersuchungen das Feingefüge an.

In interessanter Weise sind die drei Kristallarten zu verfolgen Ag_3Sn, Ag_3Hg_4 und der Mischkristall SnHg.

In der Tabelle sind die Mengen aufgenommenen Quecksilbers für je ein Gramm Feilung in frischem und gealtertem Zustand einander gegenübergestellt.

(Nach Tammann und Dahl.)

Aufgenommenes Hg			% Silber
frisch	gealtert	Differenz	des Feilicht
0,85	0,84	0,01	100
0,88	0,85	0,03	85
1,70	0,76	0,98	73
—	—	—	68
1,40	0,49	0,91	67
1,12	0,29	0,83	60
1,04	0,27	0,77	55
—	—	—	52,5
0,9	0,27	0,63	50
0,7	0,23	0,47	45
0,64	0,23	0,41	40
—	—	—	38
—	—	—	34
0,51	0,28	0,23	25
—	—	—	10
—	—	—	4
0,31	0,31	0	0

(Nach dem Zustandsdiagramm Ag-Sn sind folgende Kristallarten innerhalb dieser Legierungsreihe möglich:

von 100—81% Silber Mischkristalle,

von 81—73% Silber Endglieder der Mischkristallreihe mit 81% und der Kristallart Ag_3Sn,

von 73% Silber an abwärts Ag_3Sn- und Sn-Kristalle.)

Bei der Härteprüfung war die Amalgamherstellung und Auspressung in der Pastillenpresse die gleiche. Die Preßstücke wurden im Thermostaten zwei Tage bei 35—37° aufbewahrt und am dritten der Härteprüfung jede halbe bis ganze Stunde unterzogen.

Diese wurde folgendermaßen ausgeführt: „Durch Hebelübertragung wurde eine kleine Stahlhalbkugel von 2 mm Durchmesser mit stets demselben Druck — als Last wirkten hier immer 4,35 kg — 1 Minute gegen die polierte Oberfläche des Amalgams gedrückt. Von je vier dadurch entstandenen Eindruckskalotten, deren Inhalt

bzw. Durchmesser umgekehrt proportional der Härte ist, wurden die Größen der Durchmesser (2 r) mittels Okularmikrometers bestimmt und das Mittel hieraus als reziprokes Maß der Härte angegeben."

In Abhängigkeit von der Zeit konnten Gerade aufgezeichnet werden, aus denen wiederum die Erhärtungsgeschwindigkeit durch Division der wachsenden Zeit in die Abnahme der erhaltenen Durchmesser errechnet werden konnte.

Bei der Untersuchung über die Erhärtung in Abhängigkeit vom Quecksilber gelangte Feilicht von 73, 50, 25% Silber zur Verwendung. Eine Härtekurve stellt Abbildung 2 dar.

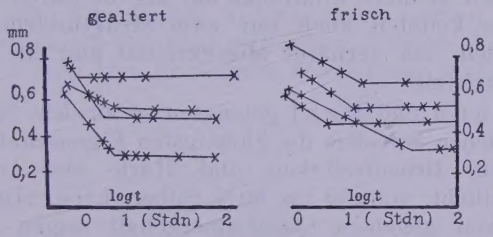


Abbildung 2.
Abhängigkeit der Erhärtung von Quecksilbergehalt bei Verwendung von frischem und gealtertem Feilicht.
(Nach G. Tammann und O. Dahl.)

Merkwürdigerweise zeigten die quecksilberreichen Amalgame kleinere Eindruckskreise. Dies ist nach Tammann und Dahl nicht auf eine besondere Härte der Kristalliten, sondern auf eine Zunahme des Zusammenhangs zwischen den Kristalliten zurückzuführen. So haben diese quecksilberreichen Amalgame die größte Konglomeratfestigkeit. Dagegen beschleunigt geringer Quecksilbergehalt die Abhärtungszeit, wie ja zu erwarten war.

Der Unterschied der Erhärtungsgeschwindigkeit zwischen frischer und gealterter Feilung ist am größten bei 73% Silber, was der Verbindung Ag_3Sn entspricht. Nach Tammann und Dahl ist die Erhärtung bedingt einmal durch die Benetzung des Feilichts mit Quecksilber, dann durch die Diffusion des Quecksilbers in das Feilicht, endlich durch die Bildung der Kristallarten Ag_3Hg_4 und Zinn-Quecksilber-Mischkristall. „Von diesen Vorgängen verursacht die Diffusion des mechanisch zurückgehaltenen Quecksilbers, das zuerst noch ein leichtes Verschieben der Legierungsteilchen bei der Beanspruchung des Preßstückes ermöglicht,

ein schnelles Anwachsen der Härte, während die Kristallbildung eine geringere Veränderung derselben hervorruft."

Bei Amalgamen aus gealtertem Feilicht mit 60—73% Quecksilber erreicht das gealterte vor dem aus frischer Feilung hergestellten Amalgam den Endwert. Jedoch bei einer Legierung von 50% Quecksilber ist der Prozeß bereits zu gleicher Zeit beendet.

Durch raschere Diffusion gelangen von 50% an abwärts die aus frischen Feilungen hergestellten Amalgame zuerst zum Ruhezustand. Kurve Mi-Ma (siehe Abb. 1) zeigt Amalgame, die durch längeres Erhitzen (auf 200°) von Silber-Zinnlegierungen erhalten wurden, in ihrer Zusammensetzung.

Sie weisen kleinere Eindrücke auf als die durch Pressen hergestellten; es konnten auch nur zwei Strukturelemente nachgewiesen werden, ein ternärer Mischkristall und ein Zinn-Quecksilber-Mischkristall.

Tammann und Dahl gelangten so zu dem Ergebnis, daß zu zahnärztlichen Zwecken die günstigsten Eigenschaften in bezug auf Volumen, Bruchfestigkeit und Härte ein Amalgam aus frischem Feilicht von 50 bis 60% Silber habe. Die gealterten Amalgame von gleichem Quecksilbergehalt zeigen Kontraktion. Dafür sind die gealterten Feilichte sofort nach der Amalgamation weicher, also leichter zu verarbeiten als die aus frischem Feilicht hergestellten.

Zu den Versuchen ist zu bemerken, daß Tammann und Dahl durch das starke Auspressen Amalgame erhielten, die zahnärztlich praktisch nicht verwendbar sind.

Wenn dieses Ergebnis sich auch in ferneren Untersuchungen als nicht ausschlaggebend erwies, indem heute fast ausschließlich gealterte Amalgame verarbeitet werden, deren Kontraktion durch expandierende Zusätze kompensiert wird, so verdanken wir doch Tammann und Dahl die eingehendsten Kenntnisse über das Wesen der Amalgame in Herstellung und Verarbeitung.

Etwa zu gleicher Zeit wurden ähnliche Untersuchungen von Sterner Rainer angestellt (Lit. 7).

In seiner Arbeit „Die Amalgame im Dienste der Zahnheilkunde" hört man von berufener metallographischer Seite eine Erklärung für die Erscheinung des Alterns.

Diese soll durch molekulare Umlagerungen, durch eine Achsendrehung der Kristallite, hervorgerufen durch die Beanspruchung von Feile, Fräse und Abdrehung, bedingt sein. Die vorher ungeordneten Kristallite erfahren eine Gleichrichtung, die nun

einem ausgebildeten Kanalsystem ähnlich, dem Quecksilber die Benetzung erleichtert.

Mit dem Aufhören der richtunggebenden Kraft sinken jedoch die Kristallite wieder in ihre bedingt willkürliche Lage zurück und versperren so einem Eindringen des Quecksilbers den Weg.

Es geht schon hieraus hervor, daß einer bestimmten Menge Feilung in einem bestimmten Zustand immer auch eine bestimmte Menge aufnehmbares Quecksilber entsprechen muß. Um so mehr leuchtet dies ein, wenn man weiß, daß es sich nicht um einfache Lösungen handelt, sondern zum Teil um das Entstehen neuer chemischer Verbindungen.

Eine verhängnisvolle Eigenschaft der Amalgame ist es nun, daß um so mehr Quecksilber aufgenommen werden kann, je geringer der Druck ist, mit dem man einen Überschuß auszupressen versucht. Das mag eine graphische Darstellung veranschaulichen.

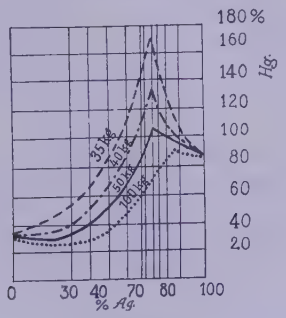


Abbildung 3.

Quecksilberaufnahme von Spänen verschiedenen Silbergehaltes. (Nach Sterner Rainer.)

Sterner Rainer knüpft hieran die berechtigte Forderung, daß zu jedem Amalgam der Hersteller die genauen Dosen erforderlichen Quecksilbers bekanntzugeben hat. Verschiedene Mengenverhältnisse müssen auch verschiedene Eigenschaften ergeben. Willkürliches Auspressen, selbst bei großer Erfahrung, bedeutet ein Moment der Unsicherheit im Amalgamationsvorgang.

Die Festigkeit wurde im Gegensatz zu den Arbeiten von Tammann und Dahl geprüft durch Eindrücken eines 90 gradigen Kegels in die Zylinderbasis des Versuchskörpers bis zum Bruch.

Sterner Rainer glaubt damit den natürlichen Verhältnissen beim Aufbiß eines Gegenzahnes näherzukommen, doch

nennt er selbst das Maß des Widerstandes, den die Fläche 1 cm² bietet, „Spaltfestigkeit". Das Maximum liegt, wie aus den abgebildeten Kurven hervorgeht, bei einem Feingehalt von 60% Silber bei 274 kg/cm².

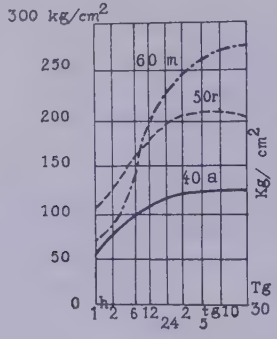


Abbildung 4.

Spaltfestigkeit mit der Zeit.

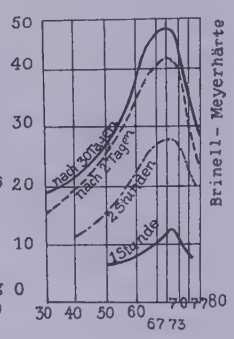


Abbildung 5.

Härte von Amalgamen verschiedenen Silbergehaltes.

Die Späne wurden dabei mit 70% Quecksilber angerieben. Ein Amalgam von 50% Silber und 66% Quecksilber war nach 1 Stunde das festeste, das aber bald von einem 60% Ag-haltigem Amalgam überholt wird. Über 70% und unter 65% Silber enthaltende Späne erwiesen sich bei Zusatz von 85 und 65% Quecksilber weniger fest.

Die Härte wurde nach Brinell, wie üblich, durch Eindrücken einer Stahlkugel von 10 mm Durchmesser bei einer Belastung von 125 kg während 2 Minuten und Messung der Eindruckskreise im Mikroskop untersucht.

Die Zylinder waren in Stahlringe eingeschlossen; die obere Fläche erwies sich härter als die untere, daher wurde aus beiden Messungen das Mittel gezogen. Die Härtekurven ergaben ähnliche Höchstwerte wie die Festigkeitskurven. 67, 70 und 73 Ag%ige Späne, mit 85, 95, 105% Quecksilber waren die härtesten. Die gleichen Amalgame haben die größte Erhärtungsgeschwindigkeit.

Merkwürdigerweise stellte S t e r n e r R a i n e r fest, daß die Erhärtung um so rascher vor sich geht, je quecksilberreicher, innerhalb einer bestimmten Grenze, sie angerieben wurden. Es gelang dabei, ein Amalgam zu erhalten, das innerhalb 25 Minuten politurhart und kantenfest ist.

Zuschüssen von anderen Metallen als Zinn und Quecksilber schreibt Sterner Rainer in einer Höhe von 5% für bestimmte Eigenschaften, z. B. Kompensierung einer Expansion, einen bedingt günstigen Einfluß zu.

Wannenmacher äußert sich zur Amalgamfrage: Kupferamalgame sind abzulehnen, da sie nachweisbare Mengen Quecksilber abgeben und eine Quelle der Gefahr für Patienten und den Zahnarzt sind.

Edelamalgame können bei richtiger Herstellungs- und Verarbeitungsweise cum grano salis einwandfrei zur Füllung verarbeitet werden.

Es sollen nur gealterte Feilichte, und diese dosiert, Verwendung finden, da sie allein eine richtige Dosierung gewährleisten. Vom Hersteller muß die Menge aufnehmbaren Quecksilbers bekanntgegeben werden.

Prüfstellen sollten eingerichtet werden, die dem Zahnarzt langwierige Forschung erleichtern.

Vor allzu großem Optimismus ist jedoch bei der Dosierungsfrage zu warnen, auch dosierte Amalgame können während der Erhärtung Spuren von Quecksilber abgeben. Aus diesem Grund sind gealterte Amalgame wegen kürzerer Erhärtungsdauer und geringerem Hg-Gehalt den aus frischer Feilung hergestellten vorzuziehen.

Bei seinen Untersuchungen setzte Wannenmacher Amalgamzylinder von 10 mm Höhe und 1,6 mm Durchmesser steigenden Drucken jeweils 1 Minute aus.

Zur Untersuchung gelangte ein Amalgam von 60% Hg und 40% Sn, wobei verschiedene Mengen Quecksilber zugesetzt wurden. Während des Erhärtens ließ sich Quecksilber auch bei den dosierten, selbstverständlich besonders bei den überdosierten abpressen.

Der Druck in kg, bei dem zuerst eine Deformation, eine Stauchung der Zylinder eintrat, wurde als Druckfestigkeit bezeichnet. Die Reihenfolge der Deformationen ist: steigende Stauchung bis zu Riß- und Sprungbildung.

Stark überdosierte, also Hg-reiche Amalgame erreichen nach Wannenmacher eine viel geringere Druckfestigkeit, auch ist der Anstieg derselben ein viel langsamerer als bei richtig dosierten.

Weiterhin kann aus der Druckfestigkeit auf die Erhärtungszeit geschlossen werden.

Ein zu nieder — weit unter das Mischungsverhältnis 1 : 1 — dosiertes Amalgam zeigt zu rasche Erhärtungszeit und zu geringe

Druckfestigkeit. Nur gealterte Feilungen lassen sich exakt dosieren und erreichen ihren Endzustand rascher. Nach 4 Stunden kann eine Füllung aus gealtertem Amalgam mit einem Silbergehalt von 60% beim Kauakt kaum mehr deformiert werden.

Gustav Haber veröffentlichte eine Zusammenfassung seiner Vorträge unter dem Titel „Neues zur Amalgamfrage". Nachdem in der Einleitung zu dieser Arbeit frühere Behauptungen zurückgenommen wurden, stellt der Autor auf Grund „seiner erweiterten Erfahrungen und Untersuchungsergebnisse" die Forderung der Einrichtung behördlicher Prüfstellen auf; Gedankengänge, die vielleicht doch nicht ganz neu sein dürften (siehe Lit. 2). Logisch ist es jedenfalls, wenn Haber sagt: „Bekommen wir Zahnärzte dieses ‚behördlich auf Druck geprüfte Material' in die Hand, dann erübrigen sich alle Prüfungen über Druckhöhe der einzelnen Zähne im Mund."

Gehen wir nun zu den wissenschaftlichen Ergebnissen über, so folgen zunächst klinische Beobachtungen an einer Patientin, die zuvor eine Schmierkur durchgemacht hatte, zwei kleine Edelamalgamfüllungen besaß und Quecksilber ausschied, ein Fall, der kaum eindeutig in seinen Ergebnissen sein dürfte. Der Fall sowie ein zweiter sind noch in der Untersuchung begriffen. Doch werden hieraus, wie aus der Literatur, Schlüsse auf die Gefährlichkeit der Quecksilberdämpfe gezogen, wobei es interessant wäre, zu erfahren, in welchen Mischungsverhältnissen die Amalgame hergestellt wurden.

Den Rest der Arbeit bilden Druckmessungen, die die Unterschiede verschiedener Fabrikate dartun sollen. Die Ergebnisse brachten zum Teil Neues, z. B. daß es Amalgame gibt, die einen Druck von 15 kg nicht aushalten, gegenüber solchen, die einem Drucke von 150 kg widerstehen.

Auf Grund dieser Ergebnisse postuliert Haber Bißsperrvorrichtungen für die Zeit, in der die Amalgame noch weich sind, behördliche Untersuchung und behördliche Ausschaltung schlechter Amalgame.

Diese Ergebnisse kranken an der Fehlerquelle, daß die Amalgame ausgedrückt wurden, „wenn es auch", nach Haber, „99% aller Zahnärzte an den Universitätsinstituten lernten und noch heute praktisch durchführen"! (Lit. 8.)

Als vergleichende Zahlen (vgl. Greve, D. M. f. Z. 1927, Lit. 9) verlieren die angedeuteten Zahlen ihren Wert vielleicht nicht, vorausgesetzt, daß alle untersuchten Amalgamproben gleichmäßig richtig hergestellt und behandelt wurden (Lit. 10); wir setzen hin-

zu — und wenn die Bezeichnung „Drucke“ gegen das Wort „Belastung“ ausgetauscht wird.

Wannenmacher tritt besonders für die Prüfung auf Druckfestigkeit ein. Im folgenden soll dargelegt werden, warum gerade die Prüfung in dieser Richtung von Wichtigkeit ist.

Eine Füllung, die nicht eine maximale Belastung von 100 kg aushalten kann, ist als wertlos anzusehen. Fenchel zitiert Black, der einen höchsten Kieferdruck von 100 kg maß, und errechnet daraus die von einem Amalgam im vollen Gebiß zu verlangende Höchstleistung mit 25 Atmosphären. Wir möchten eine höhere Belastung verlangen, da mit dem Verluste von Zähnen zu rechnen ist, dies eine höhere Belastung der verkleinerten Verteilungsfläche in sich schließt und außerdem noch mit mindestens doppelter Sicherheit gearbeitet werden soll.

So ist die maximale Druckfestigkeit einmal wichtig für den Bestand einer Füllung.

Dann gibt uns die Beobachtung des zeitlichen Verlaufs der Änderungen in der Druckfestigkeit die Möglichkeit in die Hand, Rückschlüsse auf die Umwandlung im Gefüge des Amalgams zu ziehen und damit auf Ungefährlichkeit in bezug der Quecksilberabgabe, wenigstens in groben Zügen zu schließen.

Zur Erkennung feinster innerer Umwandlungen stehen uns die genaueren elektrischen Methoden zur Verfügung.

Die Größe der Druckfestigkeit wird dadurch bestimmt, daß ein Prüfkörper von ganz bestimmter Größe und bekannter Zusammensetzung ganz bestimmten Drucken ausgesetzt wird.

Die Belastung, bei welcher die erste Deformation, Stauchung oder Kompression eintritt, wird als Druckfestigkeit des betreffenden Prüfkörpers bezeichnet.

Gleichzeitig wurde noch das Verhalten der Prüfkörper bei maximalen Drucken untersucht.

Die Höhe der Prüfkörper betrug 10 mm, der Durchmesser ca. 3 mm, die Oberfläche ca. 7,06 mm^2. Diese Amalgame wurden eine Minute im sauberen Mörser angerieben, in Glasröhrchen gestopft, danach herausgeschoben, registriert und aufbewahrt.

Der Apparat, den umstehende Abbildung wiedergibt, bestand in einer Art hydraulischen Presse, die mit zähflüssigem Öl arbeitete (vgl. Abb. 6).

Durch Drehung der Spindel sinkt der Stempel und drückt den genau zentral eingestellten Prüfkörper gegen den Preßkolben; dieser sinkt ins Öl ein und verursacht dadurch ein Steigen des auf kg/cm^2 geeichten Manometers. Da die Oberfläche des Preßkolbens

nicht einen Kreisinhalt von 1 cm^2, sondern einen solchen von 5,85 cm^2 hat, waren die Manometerzahlen mit dieser Zahl zu multiplizieren. Da ferner die Belastung gleich dem Druck pro Flächeneinheit ist, mußten diese Ergebnisse auf die Zahl der qmm Oberfläche des Versuchszylinders ausgerechnet werden.

Ein Beispiel mag dies erläutern:

Ein Prüfkörper habe 3 mm Durchmesser, das Manometer zeige 4 Atmosphären, dann ist die Oberfläche nach der Formel $r^2\pi$

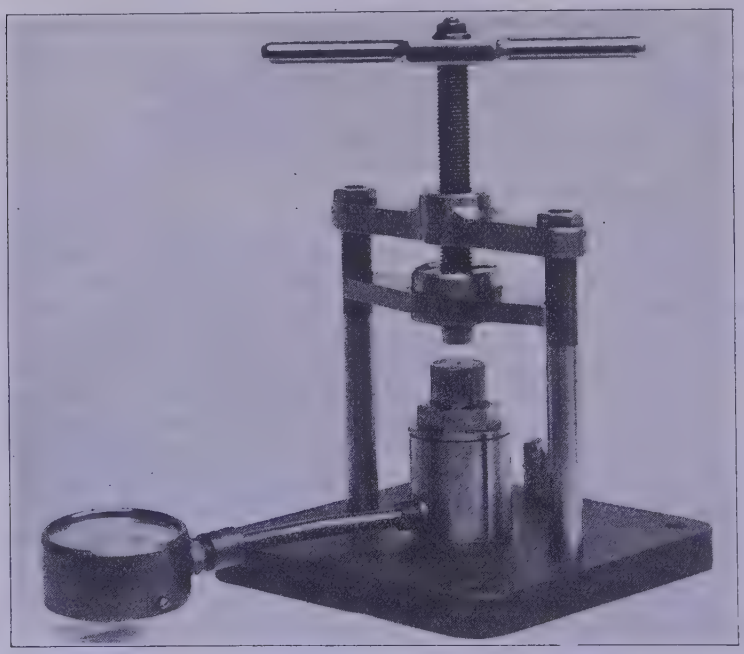


Abbildung 6.

zu errechnen. $1\,r = 1{,}5$ mm, $r^2 = 2{,}25$ mm^2, $\pi = 3{,}14$, somit $r^2\pi = 7{,}05$ mm^2, was die Oberfläche des Prüfkörpers darstellt. Ein Druck von 4 Atmosphären am Manometer entspricht, da die Flüssigkeit an allen Stellen gleichen Druck besitzt, auf der Oberfläche des Preßkolbens einem 5,85 mal größeren, beträgt somit 23,40 kg /cm^2. Diesen Druck denke man sich nun konzentriert auf die Oberfläche 7,06 mm^2, wodurch er in mm auf das Hundertfache vergrößert, auf jene größere Oberfläche bezogen, 7,06 mal kleiner wird, oder man dividiere einfach: 2340 durch 7,06 = 331,44 kg.

Die zunächst erstaunlich hohen Belastungen sind einerseits durch die Wirkung der Schraube, andererseits durch die Einwirkung auf die kleine Oberfläche erklärlich.

Die Meßmethode war folgende: Die Prüfkörper wurden langsam, zunächst nach dem Manometer bei 1 kg/cm² 5 Minuten lang belastet, dann, wie vorher, mit der Mikrometerschraube gemessen und aus drei Zahlen das Mittel genommen, etwaige Stauchung festgestellt, bei 2 kg/cm² wieder belastet und so fort bis zum Bruch. Risse und Sprünge sowie etwaige sonstige Beobachtungen wurden sofort notiert.

Versuchsreihe I.

Die erste Versuchsreihe wurde mit Amalgamen im Verhältnis

0,9 Hg zu 1 Feilung
2 „ „ 1 „
3 „ „ 1 „

also in bezug auf Quecksilbergehalt variiert. Der Übersicht halber wurde diese Gruppe mit I, die Varianten mit a, b, c bezeichnet.

Die Amalgamfeilung wurde uns in liebenswürdiger Weise von der Firma Th. Wieland, Pforzheim, zur Verfügung gestellt.

Die Zylinder wurden nach der Erhärtung plan gefeilt und gemessen. Ergebnisse:

Reihe I a.

Mischungsverhältnis 0,9:1 oder 450 mg Hg zu 500 mg Feilung.

Vorversuch ergibt: 20 Minuten Abhärtezeit genügt.

Versuch 1. Angerieben 6,40 Uhr, geprüft 7,05 Uhr, Abhärtungszeit 20 Minuten.

20 Min. bei Atm.	Höhe in mm zusammengesetzten und Längsbruch	Durchm. in mm	Verlust in mm
1	12,23	3,02	ursprünglich
1,5	11,82	3,02	Deform. 0,41 mm Risse

Versuch 2. Angerieben 7,00 Uhr, geprüft 8,00 Uhr, Abhärtezeit 1 Stunde.

1 Stunde			
	11,83	3,05	
1	11,70	3,06	0,13
2	11,46	3,08	0,24
3	11,19	3,14	0,37 biegt sich,
4	10,88	3,14	0,01 [Basis splitt.
5,2	gesplittert		

Versuch 3. Angerieben 8,40 Uhr, geprüft 12,40 Uhr.

	bei Atm. Hg	Höhe in mm	Durchm. in mm	Verlust in mm	
4 Stdn.	tritt aus.	Das Gläschen muß gesprengt werden.			
		10,69	2,98		
	1	10,66	2,99	0,03	
	2	10,64	2,99	0,02	Basis breiter
	4	10,57	3,03	0,07	[ohne Risse
	6	10,64	3,06	0,09	
	7	10,34	3,12	0,12	
	8	10,27	3,14	0,07	Basis kleine Sprünge vorgetr.
		intakt			

Versuch 4.

12 Stdn.		10,82	3,06		
	1	10,80	3,03	0,02	
	2	10,08	3,03	0,00	
	4	10,78	3,04	0,02	Fußkreis kaum sichtbar
	6	10,70	3,04	0,08	splittert nicht!
	8	10,59	3,39	0,11	Fußkr. sichtbar
		intakt			

Versuch 5. Schwarze Schichtungsringe.

24 Stdn.		10,47	3,07		
	1	10,45	3,07	0,02	
	2	10,45	3,06	0,00	
	4	10,44	3,08	0,01	
	6	10,16	3,16	0,28	
	7	bei Erreichen Längssprung, weitere Belastung unmöglich.			

Versuch 6. Angerieben 9,15 Uhr am 24. 8., geprüft 9,15 Uhr am 28. 8.

96 Stdn.	0	10,22	2,98		
	1	10,21	3,00	0,01	
	2	10,16	3,00	0,05	
	4	10,14	3,03	0,02	Fußkreis
	6	10,16	3,03	0,00	„ stärker, dadurch höher
	8	bei 6 kg im Gang auf 8 Atm. splittert vom Fuße ein Teil weit weg, trotz kleiner Basis hält er aus, aber nicht mehr meßbar			

Versuch 7. Angerieben 9,15 Uhr am 24. 8., geprüft 10,00 Uhr am 30. 8.

144 Stdn.	0	10,72	2,99		
	1	10,72	3,01	0,01	
	2	10,72	3,01	0,00	
	4	10,72	3,01	0,00	
	6	10,68	3,02	0,04	läßt sich schlecht einstellen
	8	10,66	3,03	0,02	
		intakt, hält mehr aus			

Testversuch zu Versuch 4. Abhärtungszeit 12 Stunden. Angerieben 18,50 Uhr am 28. 9., geprüft 6,50 Uhr am 29. 9.

12 Stdn. bei Atm.	Höhe in mm	Durchm. in mm	Versuch in mm
	schwer zu stopfen.		
	10,78	2,97	
1	10,78	2,97	0,00
2	10,77	2,97	0,01
4	10,77	2,98	0,00 Fußkr. schwach
6	10,73	2,99	0,04 b. 5 At. Knacks, schiefe Lage ziemlich lange Risse umgedreht
8	10,70	3,03	0,03

hätte ebensogut bei 7 Atm. brechen können

Versuch 5. Abhärtezeit 24 Stunden. Angerieben 10,25 Uhr am 30. 9., geprüft 10,35 Uhr am 1. 10.

24 Stdn. bröcklig, läßt sich nicht formen, beim Kondensieren etwas Hg-Überschuß weggenommen.			
	10,66	2,97	
1	10,66	2,97	0,00
2	10,65	2,98	0,01
4	10,63	2,98	0,02 schwach. Kreis
6	10,60	2,99	0,03 bei 5 Atm. zweimaliges Knacksen
8	10,54	3,01	0,06

Kronenriß, hält mehr aus

Ausrechnungen zu Reihe I a:

	2r	1r	$r^2 mal py$		mm^2	mal	Atmosph. 5,85
Versuch 1.	3,03	1,51	2,28 · 3,14	— 122,00 kg	7,15	1,5	8,77
„ 2.	3,15	1,57	2,46 · 3,14	— 394,04 kg	7,72	5,2	30,42
„ 3.	3,15	1,57	2,46 · 3,14	— 606,21 kg	7,72	8	46,80
„ 4.	3,39	1,69	2,85 · 3,14	— 523,48 kg	8,94	8	46,80
„ 5.	3,17	1,58	2,49 · 3,14	— 524,32 kg	7,81	7	40,95
„ 6.	3,03	1,51	2,28 · 3,14	— 654,54 kg	7,15	8	46,80
„ 7.	3,03	1,51	2,28 · 3,14	— 654,54 kg	7,15	8	46,80
	Testversuche zu:						
Versuch 4.	3,03	1,51	2,28 · 3,14	— 654,54 kg	7,15	8	46,80
„ 5.	3,01	1,50	2,25 · 3,14	— 662,89 kg	7,06	8	46,80

Die Tabellen geben die Werte zu den Kurven an.

Reihe Ia.

kg	Zeit	
122,5	25 Minuten	
394,0	1 Stunde	
606,2	4 Stunden	
524,6	12 „	654,5 (Testversuch)
524,62	424 „	662,8
654,5	96 „	
654,5	144 „	

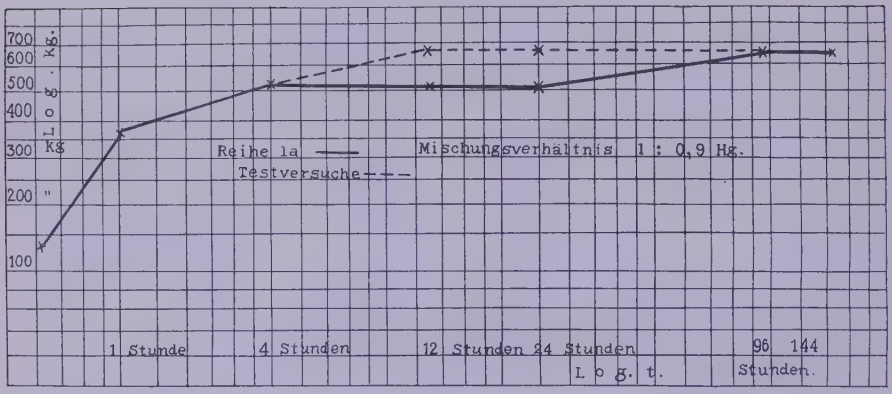


Abbildung 7.

Druckfestigkeit eines Silberamalgams in Abhängigkeit von der Zeit.

Die graphische Darstellung zeigt schon hier ein Charakteristikum, das sich mehr oder minder bei allen Kurven ausprägte: ein schwaches Absinken, höchstens Gleichbleiben der Druckfestigkeit zwischen 12 und 24 Stunden Abhärtezeit.

Reihe Ib.

Mischungsverhältnis 2 : 1 oder 1000 mg Quecksilber zu 500 mg Feilung.

Dieses und das folgende Mischungsverhältnis mußte ausgedrückt werden, da das Amalgam sonst noch nach Stunden nicht verarbeitbar gewesen wäre.

Probeversuch. 20 Minuten genügen nicht, schmiert, Höhe 10 mm wird nicht erreicht. Beim Kondensieren tritt viel Quecksilber aus. Die Mengen werden vergrößert.

Mischungsverhältnis: 1200 mg Hg zu 600 mg Feilung.

1. Versuch 30 Minuten.

30 Min.	bei Atm.	Höhe in mm	Durchm. in mm	Verlust in mm
		10,48	3,03	
	0.8	Oberteil breit und bricht		

2. Versuch 60 Minuten.

1 Stunde				
		10,54	3,03	
	1	10,43	3,08	0,11
	2	nach 2 Minuten Ecke unten, dann Oberteilbruch		

3. Versuch. Angerieben 16,00 Uhr, geprüft 20,00 Uhr.

4 Stdn.				
		11,26	3,00	
	1	11,26	3,01	0,00
	2	11,15	2,99	0,11
	4	11,01	3,04	0,14
	5	Basis splittert großenteils ab (Fußkreis Ursache)		

4. Versuch. Angerieben 7,05 Uhr, geprüft 19,05 Uhr.

12 Stdn.				
		9,87	3,00	
	1	9,87	3,00	0,00
	2	9,85	3,01	0,02
	4	9,83	3,02	0,02 Enden verbreitert
	6	9,72	3,04	0,11 Riß der Krone
	8	in der 1. Minute Bruch (Rest auf 4 Atm. gebrochen)		

5. Versuch. Angerieben 18,45 Uhr am 25. 8., geprüft 18,45 Uhr am 26. 8.

24 Stdn.				
		11,18	3,01	
	1	11,17	3,03	0.01
	2	11,14	3,03	0,03
	4	11,14	3,03	0,03
	6	11,04	3,03	0,10
	8	nach 2 Minuten Längsbruch		

6. Versuch. Angerieben 17,10 Uhr am 24. 8., geprüft 17,10 Uhr am 28. 8.

96 Stdn.				
		10,05	3,03	
	1	10,07	3,04	0,02
	2	19,07	3,04	0,00 Eindruck der Wiche,
		bei Wiederbelastung auf 1,8 Atm. erst Krone, [aber intakt		
		dann Basis gebrochen		

7. Versuch. Angerieben 17,10 Uhr am 24. 8., geprüft 17,10 Uhr am 30. 8.

	10,03	2,99	
1	10,04	3,00	0,01
2	10,02	3.00	0,02
4,2	10,02	3,00	0,00 Fußkreis schwach
6	10,00	3,01	0,02
8	9,99	3,03	0,01 hält mehr aus

Reihe Ic.

Mischungsverhältnis 3 : 1 oder 1800 mg Quecksilber zu 600 mg Feilung.

Probeversuch: Flüssig, so nicht verwendbar. Die Hälfte läßt sich abpressen. Die Marke wird gerade erreicht. Beim Kondensieren tritt oben und unten Quecksilber aus.

30 Minuten 3,02 10,44 bei 0,5 Atm. Bruch.

Versuch 1. Abhärtezeit 30 Minuten, läßt sich nicht ordentlich kondensieren (Adhäsion).

Nach 40 Minuten 1/4 Atm. 8,82 3,02 zerdrückt

Versuch 3 nach 60 Minuten.

1 Stunde		8,86	3,01	
	1	8,86	2,99	0,00
	2	8,74	3,01	0,12 kein Eindruckskreis
	4	8,62	3,09	0,12 kleinere Basisteile
	5,5	vorher Splittern, Bruch von oben		[splittern

da zu wenig Masse 21,00 mg Hg : 700 mg Feilung

Versuch 4. Angerieben 10,25 Uhr, geprüft 22,25 Uhr.

12 Stdn.		9,93	2,97	
	1	9,38	2,98	0,01
	2	9,37	2,98	0,01
	4	9,34	2,98	0,03 kein Fußkreis,
	6	9,27	2,99	0,07 [Basis breiter
	8	9,23	3,01	0,04

völlig intakt, hält mehr aus!

Versuch 5. Angerieben 19,10 Uhr am 26. 8., geprüft 19,10 Uhr am 27. 8.

24 Stdn.		9,79	3,00	
	1	9,75	3,00	0,04
	1,5	Bruch der Krone		

Versuch 6. Angerieben 14,35 Uhr am 25. 8., geprüft 14,35 Uhr am 29. 8.

96 Stdn.		10,58	2,99	
	1	10,58	2,99	0,00
	2	10,57	3,00	0,01
	4	10,55	3,00	0,02 Fußkreis
	6	10,53	2,97	0,02
	8	10,48	2,99—3,00	0,05 intakt

Versuch 7. Angerieben 14,15 Uhr am 25. 8., geprüft 14,15 Uhr am 31. 8.

144 Stdn.		10,46	2,98	
	1	10,45	2,99	0,01
	2	10,45	2,99	0,00
	4	10,44	3,01	0,01
	6	10,42	3,02	0,02
	8	10,40	3,03	0,02 intakt

Ausrechnungen zu Reihe Ib und Reihe Ic.

Vers. 1	3,03	1,51—2,28	mal	3,14—7,13		0,8	Atm.	4,68
					65,45 kg			
„ 2	3,03	1,51—2,28	„	3,14—7,15		2	„	11,70
					163,63 kg			
„ 3	3,04	1,52—2,31	„	3,14—7,25		5	„	29,25
					403,44 kg			
„ 4	3,04	1,52—2,31	„	3,14—7,25		7,5	„	43,87
					505,10 kg			
„ 5	3,06	1,53—2,34	„	3,14—7,34		8	„	46,80
					637,60 kg			
„ 6	3,04	1,52—2,31	„	3,14—7,25		2	„	11,70
					161,37 kg			
„ 7	3,03	1,51—2,28	„	3,14—7,15		8	„	46,80
					654,54 kg			

Reihe Ic.

Vers. 1	3,02	1,51—2,28	mal	3,14—7,15		0,5	Atm.	2,92
					40,83 kg			
„ 2	3,00	1,50—2,25	„	3,14—7,06		0,75	„	4,38
					62,03 kg			
„ 3	3,10	1,55—2,40	„	3,14—7,53		5,5	„	32,17
					427,22 kg			
„ 4	3,01	1,50—2,25	„	3,14—7,06		8	„	46,80
					662,89 kg			
„ 5	3,01	1,50—2,25	„	3,14—7,06		1,5	„	8,77
					124,22 kg			
„ 6	3,00	1,50—2,25	„	3,14—7,06		8	„	46,80
					662,89 kg			
„ 7	3,03	1,51—2,28	„	3,14—7,15		8	„	46,80
					654,54 kg			

Testversuche ergaben die Werte zu:

Reihe Ib.

Vers. 4	3,03	1,51—2,28	mal	3,14—7,15		8	Atm.	46,80
	gegenüber				654,54 kg			
„ 6	2,99	1,49—2,22	„	3,14—6,17		8	„	46,80
					641,44 kg			

Reihe Ic.

Vers. 5	3,04	1,52—2,31	mal	3,14—7,25		8	Atm.	46,80
					645,5 kg			
„ 4	3,00	1,50—2,25	„	3,14—7,06		8	„	46,80
					662,89 kg			

Hierzu die Tabellen:

Reihe Ib:

Zeit	kg	
30 Minuten	65,4	
1 Stunde	163,6	
4 Stunden	403,4	
12 „	605,2	Testversuch 654,54
24 „	637,6	
96 „	161,4	Testversuch 671,44
144 „	654,5	

Reihe Ic:

Zeit	kg			
40 Minuten	40,83			
1 Stunde	62,0			
4 Stunden	427,2			
12 „	662,8		Testversuch	654,5
24 „	124,2	1.	„	645,5
		2.	„	645,5
96 „	662,8			
144 „	662,8			

Abbildung 8 gibt die zugehörigen Kurven wieder.

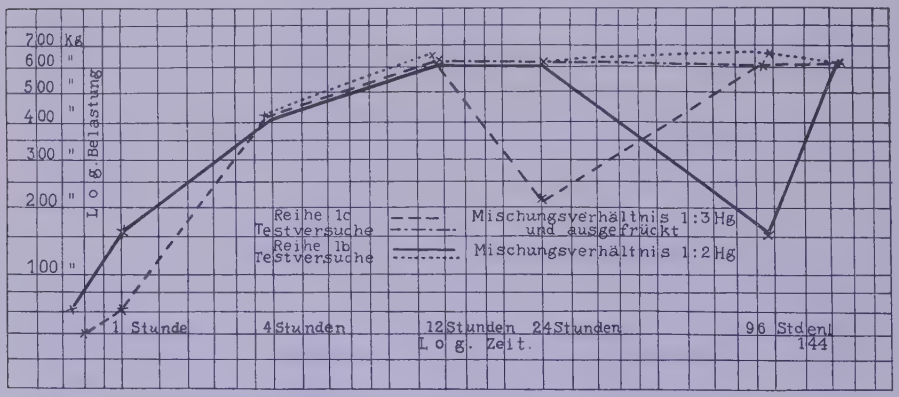


Abbildung 8.

Druckfestigkeit eines Silberamalgams in Abhängigkeit von der Zeit.

Die Vergleichung der graphischen Darstellungen (Abbildungen 7 und 8) zeigt das viel bessere Verhalten der Reihe I a, ein Mischungsverhältnis, wie es bei den dosierten Amalgamen der Universitätszahnklinik Tübingen seit längerer Zeit in Anwendung ist.

Die angeführten Testversuche beweisen die inkonstante Zusammensetzung der ausgedrückten Amalgame — mit einem

Mischungsverhältnis von 2 : 1 bzw. 3 : 1 Quecksilber zu Feilung —. Bei ihnen schwanken die Werte der Druckfestigkeit ganz erheblich.

Wir können hier nochmals den Satz Sterner Rainers unterstreichen, der oben schon einmal Erwähnung fand: „Er glaube berechtigt zu sein, zu sagen, daß ein Element der Unsicherheit in den Amalgamationsvorgang hineinkommt, wenn den Spänen Quecksilber im Überschuß zugesetzt und jene Menge, die sich nicht amalgamieren will, abgepreßt wird." Dieser Satz findet hier seine Bestätigung.

Auf Grund dieser Versuchsreihen muß man zu dem Schluß kommen, daß nur gealterte, dosierte Amalgame bezüglich der Druckfestigkeit einwandfrei zu verarbeiten sind.

Über die Deformationsgrößen und die Bedeutung des Fußkreises wird weiter unten berichtet.

Wenn nun die Frage der Dosierung in großen Zügen wenigstens geklärt erscheint, so liegt zum wenigsten für den Zahnarzt immer noch eine Quelle der Gefahren und Ungenauigkeiten in der Art der Anreibung.

Nicht allein, daß Quecksilber aus der Anreibeschale verdampfen oder wegspringen kann — es wurden daher schon besondere Arbeitstische und -räume gefordert —, sondern in den mit Sandstrahlgebläse hergestellten Mörsern bleibt meist ein Rückstand, der, nicht sorgfältig jedesmal entfernt, für spätere Anreibungen eine verhängnisvolle Rolle spielen kann.

Es ist bekannt, daß schon erhärtete Amalgamkristalle die Kristallisationsvorgänge in frisch angeriebenen Amalgamen wesentlich zu beschleunigen vermögen.

Diese Gefahren können mit Hilfe von Schüttelapparaten vermieden werden.

Es war noch nicht geklärt, ob die Erhärtungszeit bei geschüttelten Amalgamen kürzer oder länger ist als bei angeriebenen. Zunächst erscheint es wahrscheinlich, daß die geschüttelten Amalgame nicht so vollwertig sein können wie die angeriebenen, da das mechanische Moment beim Anreiben größer sein könnte. Dieser Untersuchung diente Versuchsreihe II.

Reihe II a.

Mischungsverhältnis 0,9 zu 1 oder 450 mg Quecksilber zu 500 mg Feilung.

Schüttelzeit 30 Sekunden — im Tempo einer elektrischen Bohrmaschine.

Versuch 1. Geschüttelt 9,15 Uhr, geprüft 9,40 Uhr.

	bei Atm.	Höhe in mm	Durchm. in mm	Verlust in mm	
25 Min.		10,88	3,03		silbriges Aussehen, Hg-Austritt
	0,5	Sprünge gewaltig gestaucht			
	0,8	Basisbruch			

Versuch 2. Geschüttelt 9,15 Uhr, geprüft 10,15 Uhr.

1 Stunde		10,06	3,03	Es tritt nicht mehr so viel Hg aus wie bei Versuch 1 Gewichte werden, da sich Differenzen zeigen, ausgeschieden
	1	9,83	3,09	0,23 Spitze platt
	2	nach 1 Minute Bruch unter Nachstellen		

Versuch 3. Geschüttelt 10,10 Uhr, geprüft 22,10 Uhr.

12 Stdn.		10,04	2,97	0,00
	1	10,05	2,98	0,01
	2	10,05	2,98	0,00
	4	10,04	3,00	0,01
	6	10,02	3,02	0,02
	8	9,96	3,03	0,06 intakt

Versuch 4. Geschüttelt 10,11 Uhr am 27. 8., geprüft 10,11 Uhr am 28. 8.

24 Stdn.		11,43	3,06	
	1	11,43	3,06	0,00
	2	11,43	3,06	0,00
	4	11,40	3,02	0,03 Fußk. nicht sichtbar
	6	11,35	3,03	0,05 „ sichtbar
	8	11,35	3,03	
		bei 7 Atm. Hälfte weggespritzt!		

Versuch 5. Geschüttelt 14,35 Uhr am 27. 8., geprüft 14,35 Uhr am 31. 8.

96 Stdn.		9,90	2,99	0,00
	1	9,89	3,00	0,00
	2	9,89	3,00	0,04
	4	9,85	3,01	0,04 kein Fußkreis
	7	9,89	3,01	0,05 Fußkreis schwach
	8	9,79	3,02	0,01
		intakt, stand etwas schief		

Reihe II b.

Mischungsverhältnis wie oben. Schüttelzeit 40 Sekunden.

Versuch 1. Geschüttelt 8,30 Uhr, geprüft 8,50 Uhr.

20 Min.		10,88	2,99	noch nicht hart
	1	10,78	2,99	0,10 Fuß setzt sich
	2	10,46	3,09	0,32 Biegung Risse
	3	setzten bröckeligen Zusammenbruch		

Versuch 2. Geschüttelt 8,35 Uhr, geprüft 9,35 Uhr.

	bei Atm.	Höhe in mm	Durchm. in mm	Verlust in mm	
1 Stunde		10,29	3,02		
	1	10,28	3,02	0,01	
	2	10,26	3,01	0,02	mehrmals gemessen
	4	10,26	3,01	Kronenrisse, allmählicher Zusammenbruch	

Versuch 3. Geschüttelt 8,48 Uhr, geprüft 20,48 Uhr.

12 Stdn.		10,78	2,97		
	1	10,78	2,99	0,00	
	2	10,78	2,97	0,00	kein Fußkreis
	4	10,75	3,00	0,03	
	6	10,72	3,00	0,03	
	8	10,69	3,01	0,03	völlig intakt

Versuch 4. Geschüttelt 9,20 Uhr am 29. 8., geprüft 9,20 Uhr am 30. 8.

24 Stdn.		10,84	2,96		
	1	10,84	2,96	0,00	
	2	10,84	2,97	0,00	
	4	10,82	2,99	0,02	
	6	10,81	2,99	0,01	
	8	10,77	3,00	0,04	intakt

Versuch 5. Geschüttelt 7,30 Uhr am 2. 9., geprüft 8,45 Uhr am 6. 9.

97 Stdn.		10,57	3,00		
	1	10,55	3,01	0,02	
	2	10,54	3,01	0,01	
	4	10,53	3,02	0,01	Fußkreis, Knacks
	6	10,50	3,03	0,03	feine Risse
	8	10,39	3,04	0,11	hält mehr aus

Preßzylinder stößt durch vielen Ölaustritt nach 4 Minuten am Boden auf (Überlastung des Zylinders).

Ausrechnungen zu Reihe II a und II b:

Reihe II a.

Vers. 1	3,03	1,51—2,28	mal	3,14—7,15	40,83 kg	0,5	Atm.	2,22
„ 2	3,10	1,55—2,40	„	3,14—7,53	155,37 kg	2	„	11,70
„ 3	3,03	1,51—2,28	„	3,14—7,15	654,5 kg	8	„	46,80
„ 4	3,03	1,51—2,28	„	3,14—7,15	572,72 kg	7	„	40,95
„ 5	3,02	1,51—2,28	„	3,14—7,15	654,54 kg	8	„	46,80

Reihe IIb.

Vers. 1	3,09	1,54—2,37 mal	3,14—7,44	370,29 kg	3	Atm.	27,55
„ 2	3,02	1,5 —12,28 „	3,14—7,15	327,27 kg	4	„	23,40
„ 3	3,01	1,50—2,25 „	3,14—7,06	662,88 kg	8	„	46,80
„ 4	3,00	1,50 - 2,25 „	3,14—7,06	662,88 kg	8	„	46,80
„ 5	3,04	1,52—2,31 „	3,14—7,25	645,91 kg	8	„	46,80

Testversuche zu Reihe IIa.

Vers. 4	2,99	1,49—2,22 mal	3,14—6,97	671,44 kg	8	Atm.	46,80
„ 1	3,03	1,51—2,28 „	3,14—7,15	163,6 kg	1,5	„	8,7
„ 2	3,03	1,51—2,28 „	3,14—7,15	327,2 kg	4	„	23,40

Tabellen Reihe IIa.

Zeit	kg	Testvers.	Zeit	kg	Testvers.
20 Minuten	40,0	163,6	20 Minunten	370,2	163,6
		163,6	1 Stunde	327,2	327,2
1 Stunde	155,3	327,2	12 Stunden	662,8	
12 Stunden	654,5		24 „	662,8	671,4
24 „	572,7		96 „	645,5	
96 „	654,5				

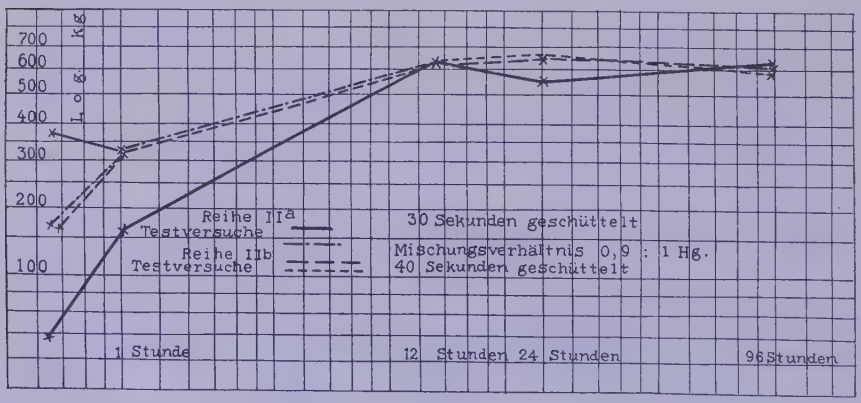


Abbildung 9.
Druckfestigkeit von Silberamalgamen in Abhängigkeit von der Zeit.

Die graphische Darstellung (Abbildung 9) zeigt wiederum gegenüber den Reihen I a, I b und I c eine größere Konstanz der Werte, also einen ruhigeren Verlauf und raschere Erhärtungszeit. Die größere Beständigkeit beweisen auch die Testversuche.

Wenn Versuch 1 und 2 der Reihe II b bei den Testversuchen andere Werte ergab, so mag dies aus einem Fehler bei der Abwägung der Mengen entspringen.

Eine stille Befürchtung, daß das Schütteln den Amalgamationsprozeß wesentlich ungünstiger beeinflusse als das Durchmengen beim Anreiben, hat sich demnach nicht bestätigt. Die Erklärung mag wohl in der Schwere und demzufolge größeren Träge des Quecksilbers gegenüber der Feilung zu suchen sein.

Die Deformationsgrößen aller drei Reihen sind unten zusammengestellt und beurteilt.

Die dritte Versuchsreihe diente der Untersuchung der Druckfestigkeit und Deformationsgrößen bei Anwendung einer Waschflüssigkeit.

Da die geschüttelten Amalgame silberblank erschienen, war auf einen Angriff der Oberflächen der Teilchen zu schließen, weiterhin auf leichtere Benetzbarkeit, damit bessere Amalgamation, also höhere Druckfestigkeit. Diese Hypothese scheint sich in den Versuchsergebnissen zu erhärten.

Versuchsreihe III.

Reihe III a. Mischungsverhältnis 0,9 : 1 oder 450 mg Quecksilber zu 500 mg Feilung.

Schüttelzeit 30 Sekunden mit Waschflüssigkeit.

Versuch 1. 30 Minuten, Kopf noch weich.

30 Min.	bei Atm.	Höhe in mm	Durchm. in mm	Verlust in mm
		10,35	3,01	
	1	10,14	3,09	0,21
	2	langsames Nachstellen, Krone bröckelt zusammen		

Versuch 2. 60 Minuten.

1 Stunde		10,49	2,99	
	1	10,45	2,99	0,04
	2	10,32	2,98	0,13
	4	10,06	3,09	Sprünge
	5	Bruch zuerst Krone, dann Basis		

Versuch 4. Geschüttelt 14,45 Uhr am 28. 8., geprüft 14,45 Uhr am 29. 8.

24 Stdn.		11,35	2,98	
	1	11,35	3,00	0,00
	2	11,38	3,02	0,00
	4	11,36	3,02	0,02
	6	11,34	3,03	0,02
	8	11,32	3,03	0,02 völlig intakt, hält mehr aus

Versuch 3. Geschüttelt 9,53 Uhr, geprüft 22,53 Uhr.

13 Stdn.	bei Atm.	Höhe in mm	Durchm. in mm	Verlust in mm	
		11,17	3,03		
	1	11,17	2,99	0,00	
	2	11,17	3,00	0,00	
	4	11,16	3,00	0,01	scheint kantenfest, Fußkreis ohne Risse
	6	11,11	3,00	0,05	
	6	11,00	3,01	0,11	feinste Risse und Splitter

Versuch 5. Geschüttelt 10,40 Uhr am 27. 8., geprüft 10,40 Uhr am 31. 8.

96 Stdn.					
		10,79	2,98		
	1	10,80	2,98	0,00	
	2	10,78	2,98	0,02	
	4	10,78	2,98	0,00	
	6	10,74	2,98	0,04	
	8	10,72	2,98	0,02	intakt

Reihe III b. Mischungsverhältnis wie oben.
Schüttelzeit 40 Sekunden mit Waschflüssigkeit.

Versuch 1. Geschüttelt 2,50 Uhr, geprüft 3,10 Uhr.

20 Minuten					
		10,74	3,04		
	1	10,37	3,06	0,37	
	2	Bruch			

Versuch 2. Geschüttelt 15,30 Uhr, geprüft 16,30 Uhr.

1 Stde.					
		10,42	3,04		ziemlicher Hg-Über-
	1	10,40	3,06	0,02	[schuß
	2	10,30	3,06	0,10	
	4	zuerst Bruch des Fußes, dann Längsbruch			

Versuch 3. Geschüttelt 2,15 Uhr am 27. 8., geprüft 2,15 Uhr am 28. 8.

24 Stdn.					
		10,94	2,95		
	1	10,93	2,95	0,01	
	2	10,92	2,96	0,01	
	4	10,92	2,96	0,00	
	6	10,88	2,99	0,04	Fußk. nicht sichtbar
	8	10,85	2,99	0,03	feine Risse
		Während des Pressens nichts gesplittert, jedoch beim Messen kleine Teilchen			

Versuch 4. Geschüttelt 16,15 Uhr, geprüft 16,15 Uhr.

24 Stdn.					
		10,23	3,00		
	1	10,23	3,00	0,00	
	2	10,20	3,00	0,03	
	4	10,17	3,01	0,03	
	6	10,11	3,04	0,06	kleiner Teil weg
		Riß in der Basis nach oben			
	8	Riß verbreitert, Hälften halten das Doppelte aus			
		9,94	3,07	0,17	

Versuch 5. Geschüttelt 10,40 Uhr am 27. 8., geprüft 10,40 Uhr am 31. 8.

96 Stdn. bei Atm.	Höhe in mm	Durchm. in mm	Verlust in mm	
	9,94	2,98		
1	9,93	3,00	0,01	
2	9,91	3,00	0,02	
4	9,88	3,01	0,03	
6	9,85	3,02	0,03	
8	9,84	3,02	0,01	intakt

Ausrechnungen zu Reihe III a.

Versuch 1	3,09	1,54—2,37	mal	3,14—7,44	2 Atm.	11,70
				157,25 kg		
Versuch 2	3,09	1,54—2,37	„	3,14—7,44	5 „	29,25
				193,14 kg		
Versuch 3	3,01	1,50—2,25	„	3,14—7,06	8 „	46,80
				662,88 kg		
Versuch 4	3,03	1,51—2,28	„	3,14—7,15	8 „	46,80
				654,54 kg		
Versuch 5	2,98	1,49—2,22	„	3,14—6,97	8 „	46,80
				671,44 kg		

Ausrechnungen zu Reihe III b.

Versuch 1	3,06	1,53—2,34	mal	3,14—7,34	2 Atm.	11,70
				159,40 kg		
Versuch 2	3,06	1,53—2,34	„	3,14—7,34	4 „	23,40
				318,80 kg		
Versuch 3	2,99	1,49—2,22	„	3,14—6,97	8 „	46,80
				671,44 kg		
Versuch 4	3,05	1,52—2,31	„	3,14—7,25	7 „	40,95
				564,82 kg		
Versuch 5	3,02	1,51—2,28	„	3,14—7,15	8 „	46,80
				654,54 kg		

Testversuch zu Versuch 3.

	3,03	1,51—2,28	mal	3,14—7,15	8 Atm.	46,80
				654,54 kg		

Tabellen zu Reihe III a und Reihe III b.

Zeit	kg	Zeit	kg	
20 Minuten	157,2	20 Minuten	159,4	
1 Stunde	393,1	1 Stunde	318,8	
12 Stunden	662,8	12 Stunden	671,4	T. 654,5
24 Stunden	654,5	24 Stunden	564,8	
96 Stunden	671,4	96 Stunden	654,5	

Die Kurven (Abb. 10) zeigen unter sich, besonders aber gegenüber der Reihe I, einen bedeutend ruhigeren Verlauf, wenn auch Reihe I a ganz leidliche Ergebnisse zeitigte. Auch gegenüber der Reihe II erscheint die Erhärtungszeit eine bedeutend kürzere zu sein, eine Tatsache, die für die praktische Anwendung der Amalgame zu Zahnfüllungen von allergrößter Bedeutung ist. —

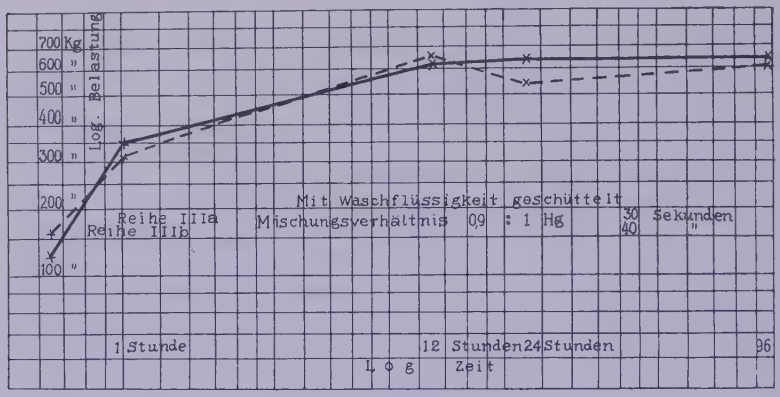


Abbildung 10.
Druckfestigkeit eines Silberamalgams in Abhängigkeit von der Zeit.

Der Verlust an Höhe gegenüber der ursprünglichen wird als Deformations- oder Stauchungsgröße bezeichnet.

Das Verhalten glaubten wir am besten zur Anschauung bringen zu können, indem wir die Höhenverluste der verschieden hergestellten Zylinder nach gleicher Erhärtungszeit und dem gleichen Drucke ausgesetzt nebeneinander zur Darstellung brachten (Abb. 11).

Die kleinsten Deformationsgrößen zeigt Reihe III. Erst nach 4 und 12 Stunden erreicht Reihe I b und I c die Widerstandsfähigkeit, die Reihe III schon früher zeigt. Auch hier zeigen sich die geschüttelten Amalgame den angeriebenen, den ausgepreßten überlegen.

Wie aus der allgemeinen Beurteilung nach jedem Ergebnis hervorgeht, lag es nicht in unserer Absicht, die einzelnen Zahlen absolut genommen zu werten. Es darf nicht verschwiegen werden, daß die Methodik, wie sich leider erst später herausstellte, manche Mängel aufwies.

Der Preßkolben hatte vom Abdrehen herrührend eine zentrale Vertiefung, die sich bei der wenig größeren Zylinderbasis un-

günstig auswirkte. Sie erzeugte Eindrücke, die mit „Fußkreise“ bezeichnet sind und nebenher auch als Anzeiger der Härte angesehen werden dürfen.

Die Dichtung des Preßkolbens ließ insbesondere bei hohen Drucken Öl austreten, was ein Nachstellen erforderlich machte. So waren die Prüfkörper nicht ganz gleichmäßigen Drucken ausgesetzt.

Die Prüfkörper selbst ließen sich nicht genau parallel in ihren oberen und unteren Flächen herstellen, was einseitige Drucklinien ergeben kann. Der Quecksilberaustritt beim Kondensieren mag nicht immer gleichmäßig entfernt worden sein.

So sind diese Zahlen bewußt n i e a b s o l u t zu werten und auch nie gewertet worden, doch zeigt eine Vergleichung der Kurven der unter gleichen Bedingungen gezeitigten Ergebnisse interessante und charakteristische Unterschiede.

V e r s u c h s r e i h e IV.

Eine letzte Versuchsreihe galt der besten Zusammensetzung der AgSn-Legierung in bezug auf optimale Druckfestigkeit. Die Zusammensetzung der Feilungen war bekannt. Es wurden, wie oben, Versuchszylinder hergestellt von 10 mm Höhe und ca. 3 mm Durchmesser, nach 24 Stunden zugefeilt, gemessen, registriert, zentral eingestellt, der Fußkreis durch eine Hartgummischeibe überdeckt und langsam ansteigend bei 4 Atmosphären 5 Minuten belastet, dann wieder gemessen und registriert.

R e i h e IV.

Mischungsverhältnis 450 mg Hg : 500 mg Feilung.

Anreibezeit 1 Minute.

Abhärtezeit 24 Stunden.

Versuch 1. Amalgam enthält 90% Silber, 10% Zinn. Sandiger Eindruck, läßt sich aber formen, großkörnig beim Feilen, sandiger Zerfall.

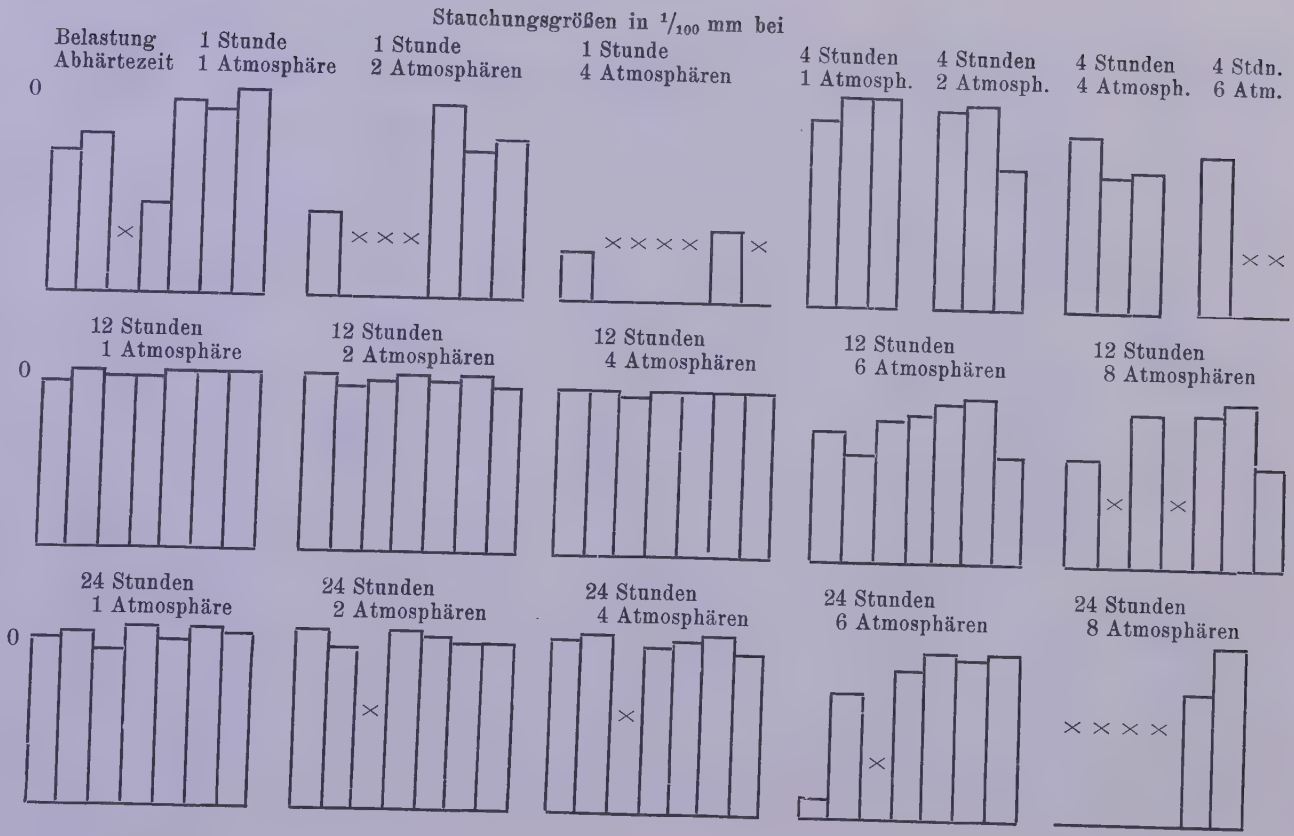
10,40 3,09 Zerfall bei 0,6 Atm.
war nur durch Kondensdruck zusammengehalten

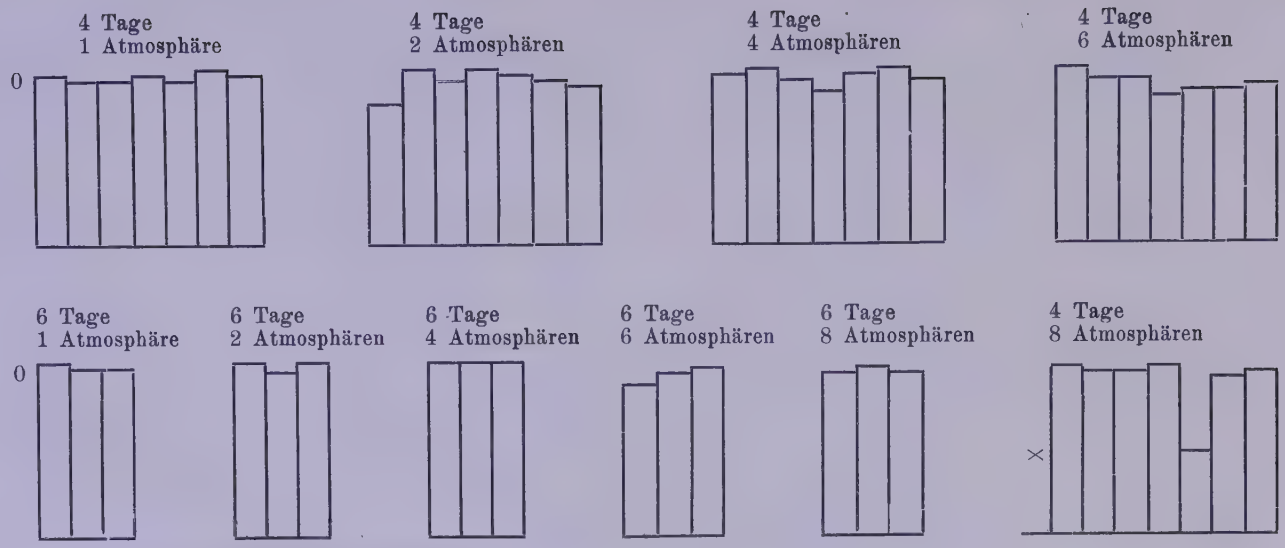
Versuch 2. 80 Ag 20 Sn Amalgam feinkörniger als 1, bröckelig.

10,16 2,98 Zusammenbruch 1,8 Atm.

Versuch 3. 70 Ag 30 Sn rasche Amalgambildung.

10,68 2,99
4 Atm. 10,63 3,01 bei 2 Atm. Knacks 4 Atm.
Deformation 0,05 hält 8 Atm. aus


Stauchungsgrößen in 1/100 mm bei
Belastung
Abhärtezeit
1 Stunde
1 Atmosphäre
1 Stunde
2 Atmosphären
1 Stunde
4 Atmosphären
4 Stunden
1 Atmosph.
4 Stunden
2 Atmosph.
4 Stunden
4 Atmosph.
4 Stdn.
6 Atm.
0
12 Stunden
1 Atmosphäre
12 Stunden
2 Atmosphären
12 Stunden
4 Atmosphären
12 Stunden
6 Atmosphären
12 Stunden
8 Atmosphären
0
24 Stunden
1 Atmosphäre
24 Stunden
2 Atmosphären
24 Stunden
4 Atmosphären
24 Stunden
6 Atmosphären
24 Stunden
8 Atmosphären
0



Die Reihenfolge der Zylinder ist:

			Reihe	Ia	Mischungsverhältnis 0,9 : 1 Hg
			„	IIb	„ 1 : 2 „
			„	Ic	„ 1 : 3 „
	30 Sekunden	geschüttelt	„	IIa	„ 0,9 : 1 „
	40 „	„	„	IIb	„ 0,9 : 1 „
mit Wasch-	30 „	„	„	IIIa	„ 0,9 : 1 „
flüssigkeit	40 „	„	„	IIIb	„ 0.9 : 1 „

bedeutet Bruch des Zylinders

Abbildung 11.
Stauchungsgrößen der Zylinder bezogen auf 0-Linie.

Versuch 4. 60 Ag 40 Sn hart.

	10,17	2,98	
4 Atm.	10,14	2,99	4 Atm.

Deformation 0,04 hält 8 Atm. aus

Versuch 5. 50 Ag 50 Sn hellsilbriges Aussehen, zäh.

	10,21	3,00	
4 Atm.	10,10	3,01	4 Atm.

Deformation 0,11 hält 8 Atm. aus

Versuch 6. 40 Ag 60 Sn bröckelig, beim Kondensieren Hg weg.

	10,19	3,04 hart	
4 Atm.	10,05	3,07	4 Atm.

Deformation 0,14 hält 8 Atm. aus

Versuch 7. 30 Ag 60 Sn bröckelig, beim Kondensieren ziemlich Hg.

	10,28	3,01	
6 Atm.	0,62	3,08	4,6 Atm.
	10,28	3,03	
4 Atm.	9,74	3,13	4 Atm.

Deformation 0,45 hat Risse, hält 8 Atm. aus

Versuch 8. 20 Ag 80 Sn nicht amalgamiert.

	10,24	3,03	
4 Atm.	Zusammenbruch		

Versuch 9. 10 Ag 90 Sn noch silberig, wischbar.

	10,38	3,04	0,8 Atm.

Basis mulmig ineinandergeschoben

Die geringste Deformation zeigte demnach ein Amalgam von der Zusammensetzung 60 Silber 40 Zinn (vgl. S t e r n e r R a i n e r S. 5), an zweiter Stelle ein Ergebnis, das als innerhalb der Fehlergrenzen liegend, als damit gleichwertig bezeichnet werden darf, ein Amalgam von der Zusammensetzung 70 Silber 30 Zinn.

Von einem Feingehalte über 70% und unter 50% Silber fielen die Ergebnisse stark ab.

Zusammenfassung.

Ein gealtertes Amalgam von einem Silbergehalte zwischen 70 und 50 dürfte in diesen Untersuchungen, bei einem Zusatz von Waschflüssigkeit 30 oder 40 Sekunden geschüttelt, das günstigste Verhalten in bezug auf Druckfestigkeit auch zeitlich gezeigt haben.

Es ist nicht gleichgültig, wieviel Quecksilber zugesetzt wird. Das Verhältnis 0,9 Quecksilber zu 1 Feilung ergibt bei dem oben verwendeten Amalgam der Firma Th. Wieland, Pforzheim, die besten Ergebnisse.

Die Amalgame müssen also dosiert werden!

Quecksilber und Feilung sollte aus hygienischen und praktischen Gründen (erhöhte Druckfestigkeit) möglichst im Schüttelapparat gemischt werden.

Die Druckfestigkeit spielt im Wesen der Amalgame eine bedeutsame Rolle; abgesehen von der praktischen Bedeutung eines Amalgams von hoher Druckfestigkeit, lassen sich aus ihr m. E. gewisse Schlüsse auf die im Innern vor sich gehenden Kristallisationsvorgänge ziehen, sie bedeutet somit einen unentbehrlichen Faktor in der Amalgamforschung.

Nicht beschließen möchte ich diese Arbeit, ohne meinem verehrten Lehrer, Herrn Privatdozent Dr. Wannenmacher, auch an dieser Stelle meinen warmen Dank für die Stellung der Aufgabe sowie für die gegebenen Anregungen während derselben ausgesprochen zu haben.

Literatur.

1. Stock, Prof., Die Gefährlichkeit des Quecksilbers und der Amalgam-Zahnfüllungen. Zeitschrift für Angewandte Chemie, Jahrgang 1928 Heft 24 S. 663 ff.
2. Wannenmacher, Dr., Tübingen, Ein Beitrag zur Amalgamfrage. Deutsche Zahnärztl. Wochenschrift 31. Jahrg. Nr. 4: Vortrag „Untersuchungen über Zinn- und Silberamalgame".
3. Wannenmacher, Dr., Vortrag (siehe Lit. 2).
4. Fenchel, Dr. Ad., Amalgame, Untersuchungs-, Verarbeitungs- und Herstellungsmethoden. Sammlung Meußer Heft 9.
5. Fenchel, Österr.-Ungar. Vierteljahrsschrift für Zahnheilkunde 26, 1910, Heft III 18.
6. Tammann, O., und Dahl, G., Über Silber-Zinn-Amalgame. Metallographische Mitteilungen aus dem Institut für physikalische Chemie der Universität Göttingen CXXI. Zeitschrift für anorg. und allgem. Chemie Bd. 144 Heft 1 u. 2.
7. Sterner Rainer, W., Wien. Die Amalgame im Dienste der Zahnheilkunde. Zeitschrift für Stomatologie XXVI. Jahrgang 5. Heft.
8. Haber, Gustav, Neues zur Amalgamfrage. Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift 31. Jahrgang Heft 9.
9. Greve, Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde 1927.
10. Siehe Lit. 3.

Lebenslauf.

Geboren bin ich, Walter Hans Widmaier, am 21. Mai 1904 zu Stuttgart, wo ich zunächst die Elementarklassen der Reformschule und danach das Eberhard-Ludwigs-Gymnasium besuchte, das ich im März 1923 mit dem Zeugnis der Reife verließ.

Nachdem ich mich zwei und ein halbes Jahr der kaufmännischen Tätigkeit gewidmet hatte, besuchte ich drei Semester lang die Universität zu Tübingen. Das Sommersemester 1927 studierte ich in München, um dann im Wintersemester 1927 wieder nach Tübingen zurückzukehren. Während der ganzen Zeit habe ich mich dem Studium der Zahnheilkunde gewidmet.